

令和 6 年度 A O 入 試 問 題 集 (工学部)

公表期限：2027 年 3 月末

東北大学アドミッション機構

令和 6 年度（2024 年度）東北大学

AO 入試（総合型選抜）Ⅱ期

筆記試験①問題

令和 5 年 11 月 4 日

志願学部	試 験 時 間	ページ数
工 学 部	9 : 30～10 : 50 (80 分)	6 ページ

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この「問題冊子」、「解答用紙」を開いてはいけません。
2. この「問題冊子」は 6 ページあります。ページの脱落、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出てください。ホチキスは外さないでください。
3. 「問題冊子」の他に、「解答用紙」、「メモ用紙」を配付します。
4. 解答は、必ず黒鉛筆（シャープペンシルも可）で記入し、ボールペン・万年筆などを使用してはいけません。
5. 「解答用紙」の受験記号番号欄（1 枚につき 1 か所）には、忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入してください。
6. 解答は、必ず「解答用紙」の指定された箇所に記入してください。
7. 試験終了後は「解答用紙」を回収しますので、持ち帰ってはいけません。
「問題冊子」、「メモ用紙」は持ち帰ってください。

1

以下の問いに答えよ。

- (1) 1, 2, 3, 4, 5, 6 の目が等しい確率で出る 1 個のさいころを 3 回続けて投げる。はじめの 2 回投げて出た 2 つの目が連続する 2 つの数であり, 続けて 3 回目に投げて出た目も含めると連続する 3 つの数となる確率を求めよ。ただし, 出る目の順番は問わない。

- (2) $x > 1$ とする。次の不等式を満たす x の値の範囲を求めよ。

$$\log_3 x + \log_x 9 \leq \frac{9}{2}$$

- (3) 次の定積分の値を求めよ。

$$\int_{-1}^1 |x(x+1)^2| dx$$

2 三角形 ABC において、 $AB = 7$ 、 $BC = 5$ 、 $CA = 3$ とする。辺 BC を $4:1$ に内分する点を D とする。頂点 B から直線 AC に垂線を引き、直線 AC との交点を E とする。 $\overrightarrow{AB} = \vec{b}$ 、 $\overrightarrow{AC} = \vec{c}$ とするとき、次の問いに答えよ。

- (1) 内積 $\vec{b} \cdot \vec{c}$ の値を求めよ。
- (2) 線分 AE の長さを求め、 $\overrightarrow{AE}$ を $\vec{c}$ を用いて表せ。
- (3) 三角形 ABC の面積を求めよ。
- (4) 点 E に関して点 C と対称な点を F とする。直線 AD と直線 BF との交点を G とするとき、三角形 BDG の面積を求めよ。

3 xy 平面上の曲線 C_0 が媒介変数 t を用いて次のように表される。

$$\begin{cases} x = 3 \cos t + \sin t \\ y = \cos t + 3 \sin t \end{cases} \quad (0 \leq t < 2\pi)$$

また、曲線 C_0 を原点の周りに $\frac{\pi}{4}$ だけ回転した曲線を C_1 とする。
次の問いに答えよ。

- (1) 媒介変数 t を用いずに、 C_0 を表す x と y との関係式を求めよ。
- (2) C_1 を表す x と y との関係式を求めよ。
- (3) C_0 の $y \geq 0$ の部分と x 軸とで囲まれた領域 E を図示し、 E の面積を求めよ。
ただし、 E の境界線はすべて含むものとする。

令和 6 年度（2024 年度）東北大学

A○入試（総合型選抜）Ⅱ期

筆記試験② 封筒

令和 5 年 11 月 4 日

志願学部／学科／ 専攻	試 験 時 間	問題冊子数
工 学 部	13：00～14：20 (80 分)	2 冊

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この封筒を開いてはいけません。
2. この封筒には、「問題冊子」2冊、「解答用紙」2種類、「メモ用紙」1冊が入っています。
3. 筆記試験②は、＜必答問題1＞、＜必答問題2＞の2冊からなります。
※ ＜必答問題1＞、＜必答問題2＞を両方とも解答してください。両方解答しなかった場合は、失格となります。
4. ページの脱落、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出てください。問題冊子のホチキスは外さないでください。
5. 解答は、必ず黒鉛筆（シャープペンシルも可）で記入し、ボールペン・万年筆などを使用してはいけません。
6. 「解答用紙」は1枚につき1か所の所定の欄に、忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入してください。
7. 解答は、必ず「解答用紙」の指定された箇所に記入してください。
8. 試験終了後は、「解答用紙」は全て回収しますので持ち帰ってはいけません。
本封筒、「問題冊子」及び「メモ用紙」は持ち帰ってください。

令和 6 年度（2024 年度）東北大学
A O 入試（総合型選抜）Ⅱ期

筆記試験②

< 必答問題 1 >

令和 5 年 11 月 4 日

志願学部／学科／ 専攻	試 験 時 間	ページ数
工 学 部	13 : 00 ~ 14 : 20 (80 分)	14 ページ

———このページは白紙———

———このページは白紙———

必要があれば次の数値を用いなさい。

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

絶対零度： $-273 \text{ }^\circ\text{C}$

アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

原子量： $\text{H} = 1.0$ $\text{Li} = 6.9$ $\text{C} = 12.0$ $\text{O} = 16.0$ $\text{Cl} = 35.5$ $\text{K} = 39.1$

- 1 気体の溶解に関する文〔Ⅰ〕と蒸気圧に関する文〔Ⅱ〕を読んで、問1から問5に答えなさい。

〔Ⅰ〕体積を自由に変えることのできるピストン付きの容器に、水 1.0 L と気体A 0.30 mol のみを入れて、気体Aと水を合わせた容器内の体積が 3.0 L になるように固定具でピストンを固定した（図1）。

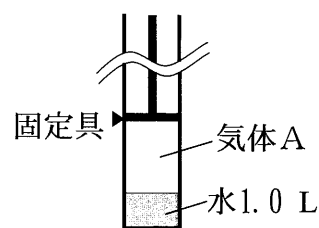


図1

実験のあいだ、容器の温度は常に $20 \text{ }^\circ\text{C}$ に保たれて

いた。気体Aの水への溶解はヘンリーの法則に従い、

$20 \text{ }^\circ\text{C}$ で水に接している $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の気体Aは、水 1.0 L に $3.9 \times 10^{-2} \text{ mol}$ 溶けることとする。気体Aは今回の実験における温度、圧力のもとで凝縮することはない、理想気体としてふるまい、また、ピストンの質量、水の蒸気圧は無視する。

問1 容器内の気体Aの圧力を P [Pa] として(1)から(3)に答えなさい。

- (1) 水 1.0 L に溶解している気体Aの物質量 n_s [mol] を、次の式で表すとき、

に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。

$$n_s = \text{} \times P$$

- (2) 水の上の空間に存在する気体Aの物質量 n_g [mol] を、次の式で表すとき、

に入る数値を有効数字2桁で答えなさい。ただし、容器内の気体部分の体積は 2.0 L とし、気体定数 $8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ と絶対温度 293 K の積を $2.43 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{L/mol}$ として計算しなさい。

$$n_g = \text{} \times P$$

- (3) P [Pa] の値を求め、その値を有効数字2桁で書きなさい。

問 2 温度を 20°C に保ったまま、ピストンの固定をはずして自由に動く状態にしたところ、容器内の気体 A の圧力が容器にかかる大気圧 ($1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$) と等しくなってピストンが止まった。この状態を状態 1 とする (図 2 左)。状態 1 で水に溶けている気体 A の物質量を n_1 [mol] とする。次に温度を 20°C に保ったまま、状態 1 のピストンにおもりを載せ、容器内の気体 A の圧力を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ とした状態を状態 2 とする (図 2 右)。状態 2 で水に溶けている気体 A の物質量を n_2 [mol] とする。(1) および (2) に答えなさい。ただし、固定をはずしたピストンは摩擦なく動くものとする。

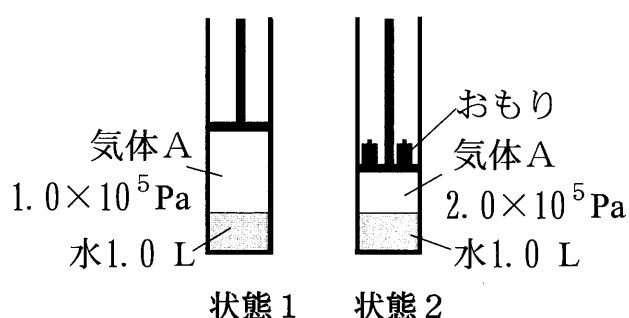


図 2

- (1) n_1 [mol] の気体 A の体積を $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで、 n_2 [mol] の気体 A の体積を $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで測定したところ、それぞれ V_1 [L]、 V_2 [L] であった。 V_1 と V_2 を比較したとき、その大きさはどのような関係になるか。①から③より正しいものを 1 つ選んで解答欄の番号を○で囲みなさい。体積測定時の温度はいずれも 20°C とする。

① $2V_1 = V_2$ ② $V_1 = V_2$ ③ $V_1 = 2V_2$

- (2) n_1 [mol] の気体 A と n_2 [mol] の気体 A の体積を同じ圧力のもとで測定したところ、それぞれ V_3 [L]、 V_4 [L] であった。 V_3 と V_4 を比較したとき、その大きさはどのような関係になるか。①から③より正しいものを 1 つ選んで解答欄の番号を○で囲みなさい。体積測定時の温度はいずれも 20°C とする。

① $2V_3 = V_4$ ② $V_3 = V_4$ ③ $V_3 = 2V_4$

〔Ⅱ〕 体積を自由に変えることのできる
 ピストン付きの容器に、水 0.10 mol と水素
 0.10 mol のみを入れて体積が 3.0 L になる
 ようピストンを固定し、温度を 90 °C に保っ
 て放置した。(a) 十分に放置した段階で、容器

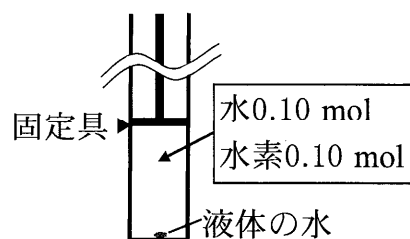


図 3

内には水の一部が液体として存在しており、このときの水素分圧は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ であっ
 た(図 3)。また、図 3 の容器にかかる大気圧は $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ であり、90 °C での水の蒸気
 圧(飽和蒸気圧)は $7.0 \times 10^4 \text{ Pa}$ であった。

次に、温度を 90 °C に保ったまま、ピストンの固定をはずして可動状態とし、ピス
 トンを引いて体積をゆっくり増加させ、(b) 液体の水がすべて蒸発した瞬間にピストン
を再び固定した。さらに、温度を 90 °C に保ったまま、ピストンの固定を再びはずし
 て自由に動く状態とし、静止するまで放置することにより、(c) 容器内部を大気圧と等
しい圧力とした。

また、図 3 の装置とは別に、発火装置が付いた体積が 3.0 L の密閉容器(体積一定)
 を準備し、この容器に(d) 水素 0.10 mol と酸素 0.10 mol のみを入れ、水素を完全燃焼さ
せたのち、容器内部の温度を 90 °C に保った。

ピストンの質量および発火装置の体積は無視してよく、固定を外すとピストンは摩
 擦なく動くこととする。また、水素と酸素の水への溶解および液体の水の体積は無視
 し、気体は理想気体であるとする。

問 3 下線部 (a) の段階について、次の (1) および (2) に答えなさい。

- (1) 容器内の全圧は何 Pa か。その値を有効数字 2 桁で書きなさい。
- (2) 気体として存在する水は何 mol か。その値を有効数字 2 桁で書きなさい。

問 4 下線部 (b) の段階および下線部 (c) の段階について、次の (1) および (2) に答えな
 さい。

- (1) 下線部 (b) の段階の容器内の全圧は何 Pa か。その値を有効数字 2 桁で書きな
 さい。
- (2) 下線部 (c) の段階の容器の体積は何 L か。その値を有効数字 2 桁で書きな
 さい。

問 5 下線部 (d) において、容器内部の圧力は何 Pa になるか。その値を有効数字 2 桁
 で書きなさい。

2 次の文章〔Ⅰ〕、〔Ⅱ〕および〔Ⅲ〕を読み、問1から問8に答えなさい。

〔Ⅰ〕 ある反応が進行するかどうかは、その反応の活性化エネルギーが正反応も逆反応も十分に速く起こるほど低い場合には、次の2つの要因によって決まる。なお、以下の文章では融解や溶解などの状態の変化も広義の反応に含めて述べる。

1つの要因は、反応物から生成物に変化する際の内部エネルギーの変化である。内部エネルギーとは、いま観察者が注目している部分（これを系という）がもつ全エネルギー、すなわち運動エネルギーや結合エネルギーの総和のことである。一般に内部エネルギーが小さいほどその系は安定である。この変化の過程で系の内部エネルギーが減少する場合には、系はその分のエネルギーを熱として系の外部に放出するので発熱反応となり、また生成物は反応物よりも安定になるので、反応は自発的に進行しやすい。逆に、系の内部エネルギーが増加する場合には、その分のエネルギーを系の外部から取り込むので吸熱反応となり、生成物は反応物よりも不安定になるので反応は進行しにくい。

もう1つの要因は、反応物から生成物に変化する際の系の乱雑さの変化である。反応によって系の乱雑さが増加する場合には、その反応は自発的に進行しやすいことが知られている。逆に、反応によって系の乱雑さが減少する場合には、その反応は進行しにくい。ここで、系の乱雑さが増加する変化とは、(a)固体から液体へ（融解）、液体から気体へ（気化）などの状態変化、(b)分離されていた2つの物質が均一に混じり合う変化（気体の混合、固体の溶媒への溶解など）、(c)化学反応において反応物より生成物の方が分子の数が増える変化などである。

ある反応において、上記2つの要因の効果が互いに強め合う場合には、反応は不可逆となり、自発的に進行するか、または全く進行しないかのどちらかとなる。一方、2つの要因の効果が互いに弱め合う場合には、反応は可逆となり、自発的に進行するかどうかは、その反応条件で2つの要因のどちらが大きいかにによって決まる。たとえば、反応の進行に対して、反応による内部エネルギーの増加が与える効果が、乱雑さの増加が与える効果より大きければ、その反応は自発的には進行しないが、小さければ自発的に進行する。

問1 次の反応（ア）から（オ）は、それぞれ下の表の反応の分類 A から D のどれにあてはまるか。解答欄に A から D の記号を記入しなさい。なお、これらの反応の最初と最後で系の温度は同じであるとする。

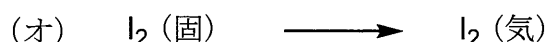
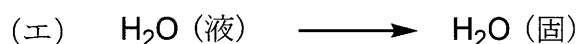
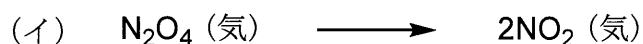
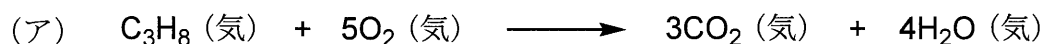
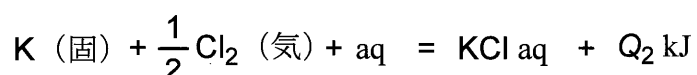
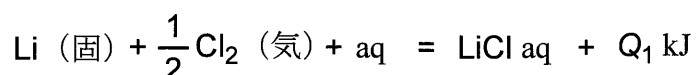


表 熱の出入りと乱雑さの変化による反応の分類

反応の分類	熱の出入り	乱雑さの変化
A	発熱	増加
B	吸熱	減少
C	発熱	減少
D	吸熱	増加

問2 LiCl （固）および KCl （固）の 25°C での水への溶解熱はそれぞれ 37.1 kJ/mol および -17.2 kJ/mol である。次の (1) および (2) に答えなさい。

- (1) LiCl （固）および KCl （固）の 25°C での生成熱はそれぞれ 408.8 kJ/mol および 435.9 kJ/mol である。次の熱化学方程式の Q_1 と Q_2 を比べ、大きい方の値を求めて小数第1位まで答えなさい。なお、aq は溶媒としての多量の水を、化学式の後に付けた aq は水溶液を表す。



- (2) KCl （固）の水への溶解は吸熱反応であるが、自発的に進行する。その理由を「内部エネルギー」および「乱雑さ」という語句を用いて40～50字程度で説明しなさい。

〔Ⅱ〕塩化リチウムおよび塩化カリウムの結晶はいずれも塩化ナトリウム型構造（図 1）をとっている。塩化リチウムおよび塩化カリウムの融点はそれぞれ $613\text{ }^{\circ}\text{C}$ および $776\text{ }^{\circ}\text{C}$ であるが、塩化リチウムと塩化カリウムを塩化リチウム：塩化カリウム = 6:4 の物質質量比で含む均一な混合物は、 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ では融解し液体となっている。この融解している塩，すなわち熔融塩を熔融塩 E とする。

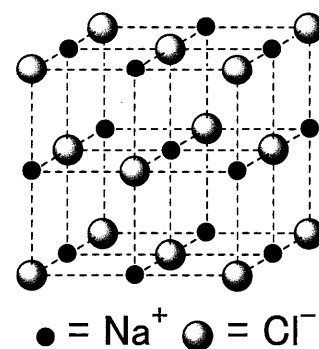


図1 塩化ナトリウム型構造

熔融塩 E 100.0 g を $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ に保ち、適切な材質の電極 X および電極 Y を挿入して電極 X と電極 Y との間に 3.6 V の電圧をかけたところ、電極 X 上にはリチウム単体（融点 $181\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）が液体として生成し、電極 Y 上には塩素が気体として発生した。液体のリチウムの密度は熔融塩 E の密度よりも小さいため、生成したリチウムは熔融塩 E に浮かんでくるので、これを塩素と接触させないようにして集めることによりリチウム単体が得られた。なお、この電気分解の間に塩化カリウムは変化せず、また熔融塩 E は液体の状態を保っていたとする。

問 3 塩化カリウム結晶の単位格子 1 個当たりの質量は何 g か。その数値を有効数字 2 桁で答えなさい。

問 4 下線部において、電極 X および電極 Y のうち一方は陽極、もう一方は陰極である。(ア) 陽極上および(イ) 陰極上で起こる反応を、それぞれ電子 (e^-) を含むイオン反応式で書きなさい。

問 5 電極 X と電極 Y との間に 5.0 A の一定電流が 2.0 時間流れたとすると、得られるリチウム単体の物質質量は何 mol か。その数値を有効数字 2 桁で答えなさい。

〔Ⅲ〕 (a) 酸化物には、水と反応させて水溶液としたときに、その水溶液が酸性を示すものから塩基性を示すものまで様々なものがある。また、水に溶けない酸化物でも、酸や塩基の水溶液と反応して溶けるものがある。たとえば、(b) 酸化アルミニウムは両性酸化物と呼ばれ、強酸とも強塩基とも反応して溶ける。また、二酸化ケイ素は常温ではほとんどの酸や塩基に対して安定であるが、(c) フッ化水素酸（フッ化水素の水溶液）とは反応して溶ける。

問 6 下線部 (a) に関連して、下の (ア) から (オ) に示す酸化物 0.1 mol を水 1 L に溶かし、得られた水溶液の pH を比べたとき、pH が最も低いもの、2 番目に低いものおよび 3 番目に低いものを下の (ア) から (オ) の中からそれぞれ選び、それらの記号を pH が低い順に、左から右に列記しなさい。

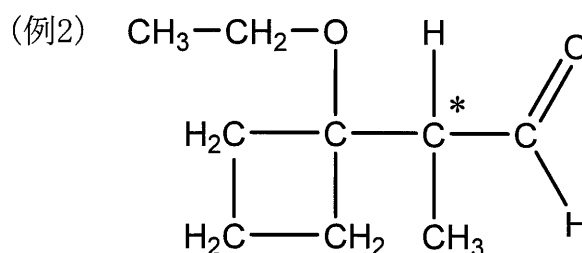
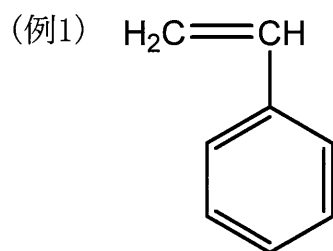
(ア) BaO (イ) SO₃ (ウ) Na₂O (エ) P₄O₁₀ (オ) CO₂

問 7 下線部 (b) に関して、次の反応 (1) および (2) のイオン式を含まない化学反応式をそれぞれ書きなさい。

- (1) 酸化アルミニウムと塩酸との反応
- (2) 酸化アルミニウムと水酸化ナトリウム水溶液との反応

問 8 下線部 (c) で起こる反応のイオン式を含まない化学反応式を書きなさい。

- 3 次の問 1 から問 4 に答えなさい。構造式や不斉炭素原子の表示(*)を求められた場合には、(例 1) および (例 2) にならって書きなさい。



- 問1 示性式 $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ で表されるアルコールの構造式を図 1 に示す。これらの中で、下の条件 (1) から (4) の各々に当てはまるアルコールを A から D の中から選び、その記号を解答欄に書きなさい。なお、それぞれの条件において、解答は 1 つとは限らない。

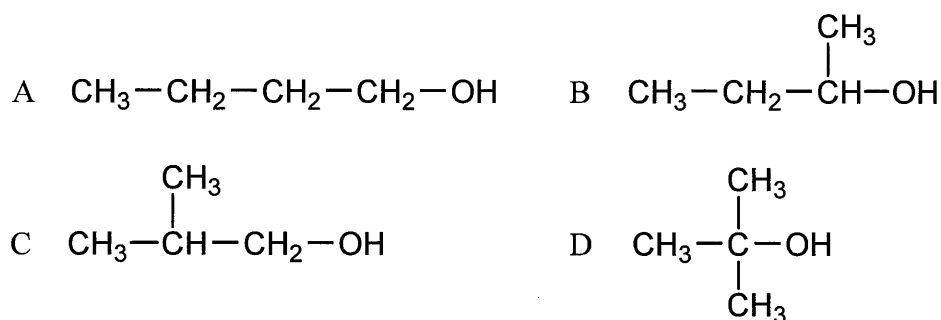


図1

- (1) 硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を加え穏やかに加熱すると、ケトンを生成するアルコール
- (2) 硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を加え穏やかに加熱すると、カルボン酸を生成するアルコール
- (3) 酸を加えて加熱し、分子内脱水反応を起こさせて生じるアルケンが、エチル基を含まないアルケンのみであるアルコール
- (4) ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させると、 CHI_3 が主要生成物の 1 つとして生じるアルコール

問2 ベンゼンの反応に関する次の文章を読み、下の (1) から (3) に答えなさい。

ベンゼンに濃硫酸と濃硝酸を加えて 60 °C で反応させると、水より密度が高く水に溶けない無色から淡黄色の液体である A が生成する。また、^(a)ベンゼンと濃硫酸との反応では、水溶性のベンゼンスルホン酸が生成する。触媒として塩化鉄(Ⅲ)を用いて、ベンゼンを塩素と反応させると、クロロベンゼンが生成する。これら 3 つの反応は ア 反応に分類される。

一方、紫外線を照射しながらベンゼンと塩素とを反応させると、B が生成する。また、ベンゼンを白金やニッケルなどを触媒として圧力をかけた水素と反応させると、環状化合物 C_6H_{12} が生成する。これら 2 つの反応は イ 反応に分類される。

(1) 空欄 A および B に入る化合物を構造式で書きなさい。

(2) 空欄 ア および イ に入る最も適切な語句を、下の枠の中から選んで書きなさい。

脱離	付加	分解	重合	置換
----	----	----	----	----

(3) 下線部 (a) の反応の化学反応式を書きなさい。その際、芳香族化合物は構造式で書きなさい。

問3 クロロベンゼン，フェノール，安息香酸およびアニリンを含むジエチルエーテル溶液 C が分液ロートに入っている。この溶液 C から，それぞれ次の化合物 (1) と (2) のみを分離したい。いずれの場合も，下の (ク) を最後の操作として行うこととし，それ以前に行うすべての操作を，下の〔操作〕の中の (ウ) から (キ) の中から選んで，その操作の順番に左から右に記号を列記しなさい。なお，(ク) より前に行う操作は，(1) では 2 つ，(2) では 3 つである。

(1) アニリン

(2) フェノール

〔操作〕

- (ウ) 溶液 C に希塩酸を加えて振り混ぜ，分離した下層を流し出す。
 - (エ) 溶液 C に炭酸水素ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜ，分離した下層を流し出す。
 - (オ) 下層を流し出して残った上層に，水酸化ナトリウム水溶液を加えて振り混ぜ，分離した下層を流し出す。
 - (カ) 流し出した下層を別の分液ロートに入れる。それに希塩酸を加えて酸性にした後，ジエチルエーテルを加えて振り混ぜ，分離した下層を流し出す。
 - (キ) 流し出した下層を別の分液ロートに入れる。それに水酸化ナトリウム水溶液を加えて塩基性にした後，ジエチルエーテルを加えて振り混ぜ，分離した下層を流し出す。
-



〔最後の操作〕

- (ク) 下層を流し出して残った上層をフラスコに移し，溶媒を蒸発させて除く。
-

問4 次の指定された条件 (1) から (4) を満たす有機化合物のうち、不斉炭素原子を 1 個もつものの構造式をそれぞれ 1 つずつ書きなさい。不斉炭素原子には*印を付けなさい。

- (1) 分子式 C_7H_{16} をもち 3 個の炭素と結合している炭素を 2 個含むアルカン
- (2) 分子式 $C_5H_{12}O$ をもつエーテル
- (3) 分子式 C_5H_8O をもち四員環構造 (4 個の原子からなる環状構造) をもつケトン
- (4) 分子式 $C_3H_6O_3$ をもつヒドロキシ酸

令和 6 年度（2024 年度）東北大学

A○入試（総合型選抜）Ⅱ期

筆記試験②

<必答問題 2>

令和 5 年 11 月 4 日

志願学部／学科／ 専攻	試 験 時 間	ページ数
工 学 部	13：00～14：20 (80 分)	13 ページ

B2456

———このページは白紙———

———このページは白紙———

1

図1のように、表面のあらい円盤があり、円盤は軸を中心に回転装置で回転することができるようになっている。長さ ℓ の軽くて伸び縮みしない棒の一端に質量 m の小物体を取り付け、他端を円盤の軸になめらかに自由に動くことができるように取り付けた。小物体と円盤との間の静止摩擦係数は μ 、動摩擦係数は μ' であり、棒と円盤との間に摩擦力ははたらかない。円盤は傾きを変えることができ、鉛直線と円盤の軸との間の角度（傾き角）を φ とする。円盤表面と円盤の軸の交点を原点 O として、水平方向に x 軸、傾いた斜面にそって下方に y 軸をとる。座標軸は円盤の回転とともに回転しないものとし、 y 軸と棒がなす角度を θ として円盤の軸を上から見て反時計回りを正の角度とする。重力の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとする。角度はラジアンを用いて表す。

次の問1～問6に答えよ。解答は、結果だけでなく、考え方や計算の過程も示せ。

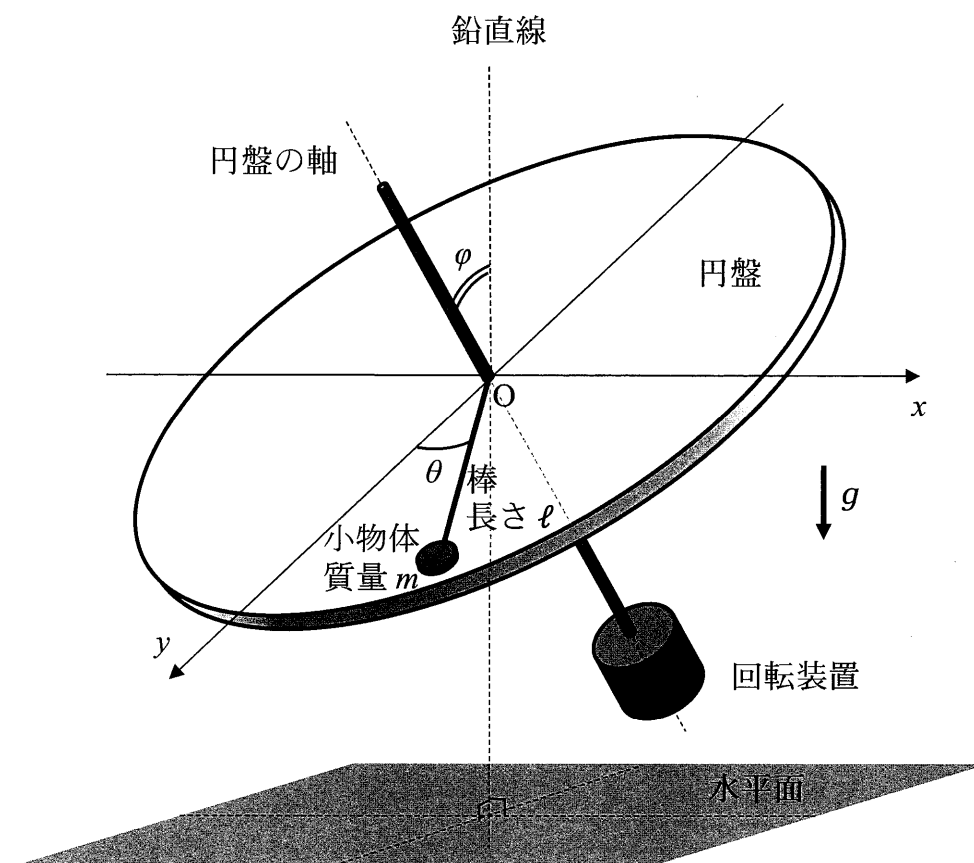


図1

※ 採点では、重力加速度の大きさを g として計算している解答も、論理的に間違いが無ければ正解として扱った。

はじめに、円盤の傾き角を $\varphi = \frac{\pi}{2}$ とした。円盤は回転していない。

- 問1 図2のように、小物体を $\theta = \frac{2}{3}\pi$ の角度の位置から静かにはなすと、小物体は円盤の表面から離れることなく運動した。 $\theta = \frac{1}{3}\pi$ の角度の位置を通過するとき小物体が棒から受ける力の大きさ S を、 m 、 g 、 ℓ から必要なものを用いて表せ。また、その力の向きを答えよ。

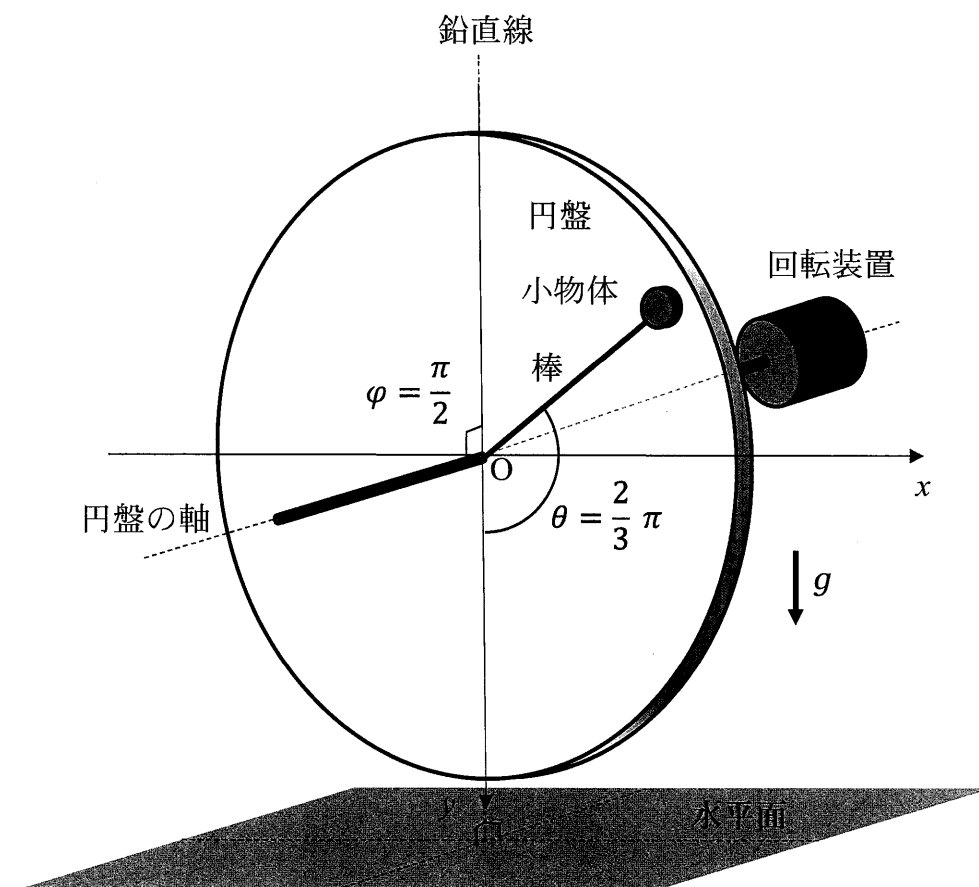


図2

- 問2 $|\theta|$ が十分小さい角度の位置から小物体を静かにはなしたとき、小物体は円盤の表面にそって $x = 0$ 、 $y = \ell$ の点を中心に、 ℓ に比べて十分小さな振幅で振動した。このとき、小物体にはたらく力が復元力になることを示し、振動の角振動数 ω と周期 T を、 m 、 g 、 ℓ から必要なものを用いて表せ。

なお、必要であれば角度 α について、 $|\alpha|$ が十分小さいときに成り立つ近似式 $\sin \alpha \cong \tan \alpha \cong \alpha$ 、 $\cos \alpha \cong 1$ を用いよ。

次に、円盤を水平にして傾き角を $\varphi = 0$ とした。円盤は回転していない。

問 3 小物体を、棒から力を受けないようにして x 軸上の $x = \ell$ の位置に静かに置いた。その後、円盤の傾き角 φ をゆっくり大きくしていくと、傾き角が φ_0 になったときに小物体はすべりだした。静止摩擦係数 μ を、 m, g, φ_0, ℓ から必要なものを用いて表せ。

問 4 小物体がすべりだした直後、円盤の傾き角を φ_0 に保った。その後、小物体が θ ($0 \leq \theta < \frac{\pi}{2}$) の角度の位置をはじめて通過する瞬間の、小物体の速さ v を、 $m, g, \varphi_0, \theta, \ell, \mu'$ から必要なものを用いて表せ。

問 5 小物体は、 x 座標が負になることなく、ちょうど y 軸上の $y = \ell$ で静止した。 μ' を、 m, g, φ_0, ℓ から必要なものを用いて表せ。

図3のように、円盤をさらに傾けて傾き角を φ_1 ($\varphi_0 < \varphi_1 < \frac{\pi}{2}$) で固定し、円盤を θ の正の向きに回転装置を用いて回転させた。その後、小物体を円盤上のある角度 θ_0 ($0 < \theta_0 < \frac{\pi}{2}$) の角度の位置に静かに置くと、小物体は円盤上をすべりながらその位置で静止した。

問6 このときの $\sin \theta_0$ と、小物体が棒から受ける力の大きさ S' を、 $m, g, \ell, \mu', \varphi_1$ から必要なものを用いて表せ。

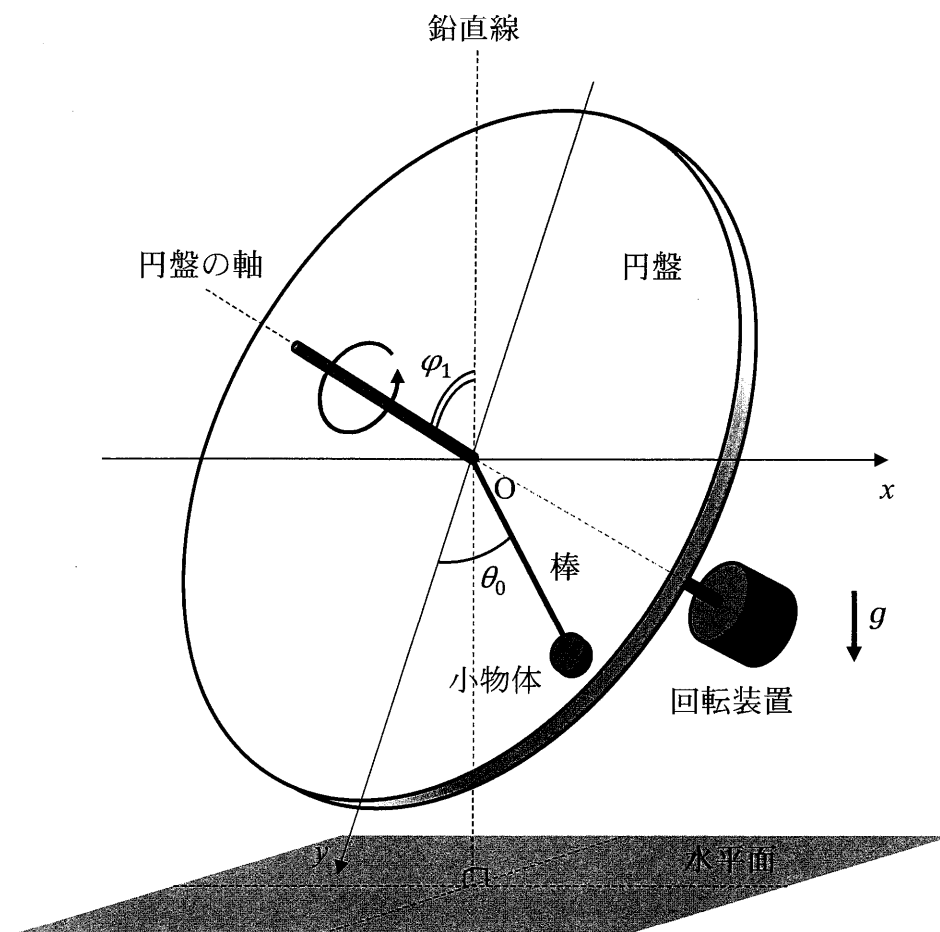


図3

2 熱を低温部分から高温部分に継続的に移動する機関をヒートポンプといい、エアコンなどに応用されている。単原子分子理想気体を使った簡略化したモデルでその原理を考える。

図1のように、物質質量 n の単原子分子理想気体（以下、気体と呼ぶ）を、なめらかに動かすことのできるピストンでシリンダー内に封じた。ピストンおよびシリンダーの側面は断熱されておりシリンダーの底面のみが熱を通す。断熱板、絶対温度 T_H の高温の物体、絶対温度 T_L の低温の物体があり、シリンダーを移動することで底面をこれらと接触させることができる。はじめにシリンダーの底面は断熱板と接触しており、気体の絶対温度は T_H であった。これを状態 A とする。シリンダーの移動とピストンの上下により、気体の状態を、図2の圧力-体積図（ $p-V$ 図）に示すように、状態 A → 状態 B → 状態 C → 状態 D → 状態 A と 1 サイクル変化させた。

温度は絶対温度で表し、気体定数を R ，気体の定積モル比熱を $\frac{3}{2}R$ とする。また、高温および低温の物体は十分大きな熱容量を持っており、温度は変わらないものとする。

次の問1～問5に答えよ。解答は、結果だけでなく、考え方や計算の過程も示せ。

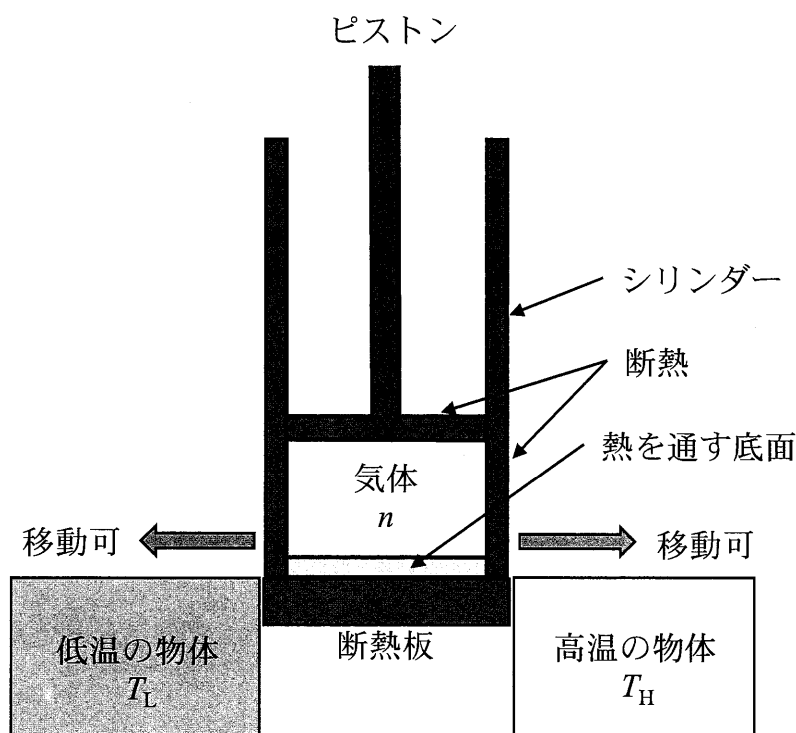


図1

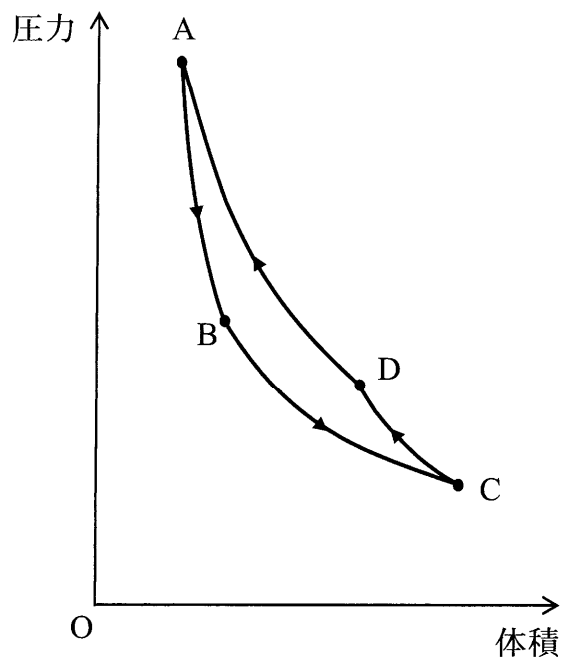


図 2

- 問 1 状態 A から，シリンダーの底面を断熱板に接触させたまま断熱変化でピストンをゆっくりと引き上げ，気体の温度が T_L の状態 B にした。内部エネルギーの変化 ΔU_{AB} と気体がされた仕事 W_{AB} を， R ， n ， T_L ， T_H を用いて表せ。
- 問 2 次に，シリンダーを移動して底面を低温の物体に接触させ，等温変化でピストンをゆっくりと引き上げ，気体がされた仕事が W_{BC} になった状態 C でピストンを止めた。低温の物体から気体が受け取った熱量 Q_{BC} を， W_{BC} を用いて表せ。
- 問 3 さらに，シリンダーの底面を断熱板上に再び移動し，断熱変化でピストンをゆっくりと押し込み，気体の温度が T_H の状態 D にした。このとき気体がされた仕事 W_{CD} を，問 1 の W_{AB} を用いて表せ。

問4 最後に、シリンダーの底面を高温の物体に接触させて、等温変化でピストンをゆっくりと押し込み、状態 A に戻した。このとき気体がされた仕事は W_{DA} であった。

この1サイクルで、高温の物体が気体から受け取った熱量 Q_h と、気体がされた仕事の総和 W ($W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} + W_{DA}$) との比 $\frac{Q_h}{W}$ は、ヒートポンプを暖房機として使ったときの性能を表す係数となる。 $\frac{Q_h}{W}$ を、 W_{BC} 、 W_{DA} を用いて表せ。また、 $W > 0$ であることを用いて、 $\frac{Q_h}{W}$ は、① 1 より大きい、② 1 に等しい、③ 1 より小さい、のいずれかを、①～③で答えよ。

問5 Q_h と W は、圧力-体積図 ($p-V$ 図) の面積に対応する。 Q_h と W それぞれについて、対応する面積を図3の A, B, C, D, p, q, r, s から必要なものを用いて、たとえば「ABqp で囲まれた面積」などのように表せ。

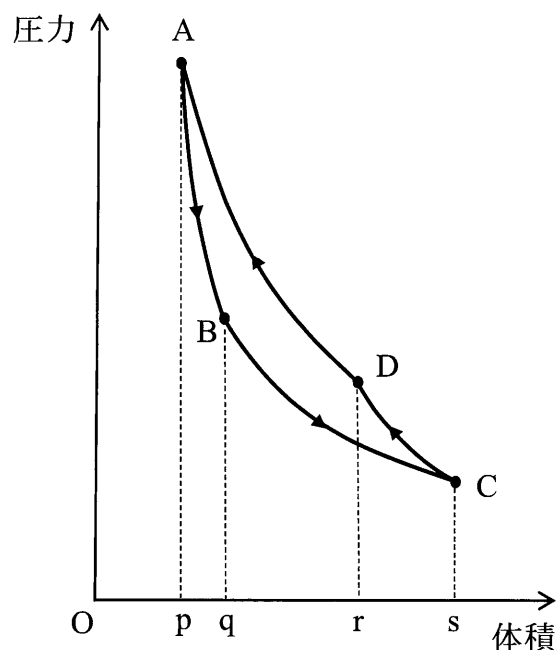


図3

3

図1のように、荷電粒子 A を電場（電界）で加速し磁場（磁界）で進行方向を曲げて、ターゲットとなる物体 T に衝突させる装置がある。装置は真空中にあり、荷電粒子 A は質量が m 、電気量が q ($q > 0$) で、物体 T は質量が M 、電気量が Q ($Q > 0$) である。

はじめ、荷電粒子 A は平行極板の正の極板の位置に静止しており、電位差が V である平行極板間の一様電場から静電気力を受けて運動し、極板の小さな穴から光速より十分小さい速さ v で射出される。その後、磁束密度 B の一様磁場の領域において半径 r で進行方向を 90° 曲げられ、磁場の領域の外に出て物体 T に向かって直進する。荷電粒子 A の運動は、紙面にそった平面のみに限定されている。

平行極板は、極板の大きさに比べて間隔 d が十分小さく、極板の穴も十分小さい。また、一様磁場の領域外での磁場はなく、漏れ出した磁場の影響も無視できる。さらに、電磁波および重力、平行極板と一様磁場の領域での物体 T の電荷の影響は無視できるものとする。クーロンの法則の比例定数を k_0 とし、静電気力による位置エネルギーの基準を無限遠とする。

次の問 1～問 6 に答えよ。解答は、結果だけでなく、考え方や計算の過程も示せ。

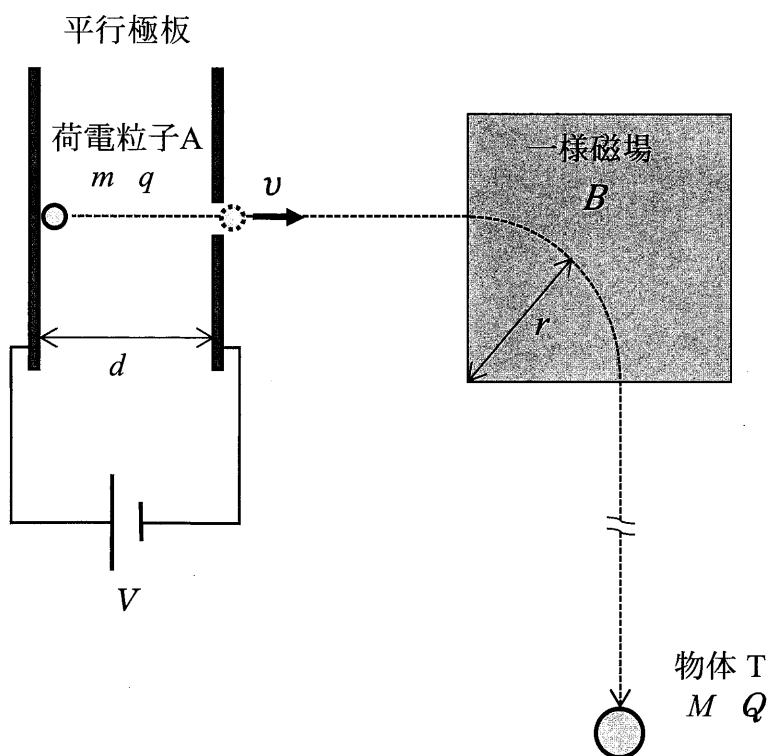


図 1

問1 荷電粒子 A の，平行極板間における加速度の大きさ a を， m ， q ， V ， d を用いて表せ。

問2 極板の穴から射出された直後の荷電粒子 A の速さ v を， m ， q ， V を用いて表せ。

問3 一様磁場によって，荷電粒子 A が進行方向を 90° 曲げられたときの磁束密度 B を， m ， q ， v ， r を用いて表せ。また，磁場の向きは，紙面に対して，〔① 奥から手前，② 手前から奥〕，のいずれかを，①，②で答えよ。

問4 一様磁場によって，荷電粒子 A が進行方向を 90° 曲げられた前後について，荷電粒子 A の運動エネルギーと運動量について考える。

(a) 運動エネルギーは変化しないが，その理由を簡潔に説明せよ。

(b) 運動量の変化の大きさを， m ， v を用いて表し，運動量の変化の向きを，はじめの進行方向からの角度で答えよ。

図2のように、物体 T の中心に向かって荷電粒子 A が入射するように物体 T を置く。物体 T は半径 R の球形で電荷は中心に集中しており、荷電粒子 A の大きさは無視できる。

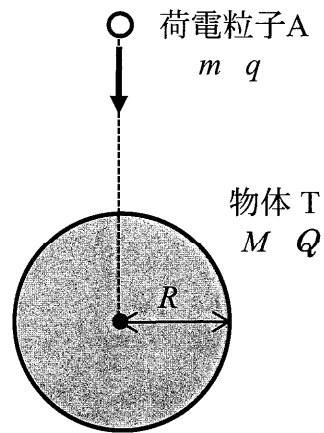


図 2

問5 はじめに、物体 T を動かないように固定した状態で荷電粒子 A を衝突させた。荷電粒子 A が物体 T に衝突するための速さ v の最小値 u を、 m 、 q 、 R 、 M 、 Q 、 k_0 から必要なものを用いて表せ。

問6 次に、物体 T を固定せず自由に動くことができる状態で静止させて荷電粒子 A を衝突させた。荷電粒子 A が物体 T に衝突するための速さ v の最小値を u' とするとき、問5の u との比 $\frac{u'}{u}$ を、 m 、 M を用いて表せ。

令和 6 年度（2024 年度）東北大学

AO 入試（総合型選抜）Ⅱ期

筆記試験③問題

令和 5 年 11 月 4 日

志願学部	試 験 時 間	ページ数
工 学 部	15 : 20～16 : 20 (60 分)	7 ページ

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この「問題冊子」、「解答用紙」を開いてはいけません。
2. この「問題冊子」は 7 ページあります。ページの脱落、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出てください。ホチキスは外さないでください。
3. 「問題冊子」の他に、「解答用紙」、「メモ用紙」を配付します。
4. 解答は、必ず黒鉛筆（シャープペンシルも可）で記入し、ボールペン・万年筆などを使用してはいけません。
5. 「解答用紙」の受験記号番号欄（1 枚につき 1 か所）には、忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入してください。
6. 解答は、必ず「解答用紙」の指定された箇所に記入してください。
7. 特に指示がない場合は、日本語で答えてください。
8. 日本語での字数の指定がある場合は句読点、数字、アルファベット、記号も 1 字として数えてください。
9. 試験終了後は「解答用紙」を回収しますので、持ち帰ってはいけません。「問題冊子」、「メモ用紙」は持ち帰ってください。

———このページは白紙———

———このページは白紙———

難民に関する次の英文＜1＞＜2＞を読んで以下の設問に答えなさい。

＜1＞

※著作権による許諾不可のため、この部分をご覧頂けません。

※著作権による許諾不可のため、この部分をご覧頂けません。

< 2 >

※著作権による許諾不可のため、この部分をご覧頂けません。

※著作権による許諾不可のため、この部分をご覧頂けません。

※著作権による許諾不可のため、この部分をご覧頂けません。

令和6年度（2024年度） 東北大学工学部
AO入試（総合型選抜）Ⅲ期

筆記試験 問題冊子

（11：00～12：00，60分）

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、この「問題冊子」、「解答用紙」を開いてはいけません。
2. この「問題冊子」は3ページあります。ページの脱落、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出てください。ホチキスは外さないでください。
3. 「問題冊子」の他に、「解答用紙」、「メモ用紙」を配付します。
4. 解答は、必ず黒鉛筆（シャープペンシルも可）で記入し、ボールペン・万年筆などを使用してはいけません。
5. 「解答用紙」の受験記号番号欄（1枚につき1か所）には、忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入してください。
6. 解答は、必ず「解答用紙」の指定された箇所に記入してください。
7. 特に指示がない場合は、日本語で答えてください。
8. 日本語での字数の指定がある場合は句読点、数字、アルファベット、記号も1字として数えてください。
9. 試験終了後は「解答用紙」を回収しますので、持ち帰ってはいけません。
「問題冊子」、「メモ用紙」は持ち帰ってください。

――このページは白紙――

次の英文を読んで以下の設問に答えなさい。

Replacing fossil fuels with biofuels has the potential to generate a number of benefits. In contrast to fossil fuels, which are exhaustible resources, biofuels are produced from renewable *feedstocks. Thus, their production and use could, in theory, be sustained indefinitely.

While the production of biofuels results in *GHG emissions at several stages of the process, *EPA's (2010) analysis of the Renewable Fuel Standard (RFS) projected that several types of biofuels could yield lower lifecycle GHG emissions than gasoline over a 30 year time horizon. Academic studies using other economic models have also found that biofuels can lead to reductions in lifecycle GHG emissions relative to conventional fuels. *Second and third generation biofuels have significant potential to reduce GHG emissions relative to conventional fuels because feedstocks can be produced using marginal land. Moreover, in the case of waste biomass, no additional agricultural production is required, and indirect *market-mediated GHG emissions can be minimal if the wastes have no other productive uses.

Biofuels can be produced domestically, which could lead to lower fossil fuel imports. If biofuel production and use reduces our consumption of imported fossil fuels, we may become less vulnerable to the adverse impacts of supply disruptions. A) Reducing our (ア) () (イ) () (ウ) () (エ), generating economic benefits for American consumers, but also potentially increasing petroleum consumption abroad.

Biofuels may reduce some pollutant emissions. Ethanol, in particular, can ensure complete *combustion, reducing carbon monoxide emissions.

B) It is important to note that biofuel production and consumption, in and of itself, will not reduce GHG or conventional pollutant emissions, lessen petroleum imports, or *alleviate pressure on exhaustible resources. Biofuel production and use must coincide with reductions in the production and use of fossil fuels for these benefits to *accrue. These benefits would be *mitigated if biofuel emissions and resource demands augment, rather than displace, those of fossil fuels.

Biofuel feedstocks include many crops that would otherwise be used for human consumption directly, or indirectly as animal feed. Diverting these crops to biofuels may lead to more land area devoted to agriculture, increased use of polluting inputs, and higher food prices. Cellulosic feedstocks can also compete for resources (land, water, *fertilizer, etc.) that could otherwise be devoted to food production. As a result, some research suggests that biofuel production may give rise to several undesirable developments.

Changes in land use patterns may increase GHG emissions by releasing *terrestrial carbon stocks to the atmosphere. Biofuel feedstocks grown on land cleared from tropical forests, such as soybeans in the Amazon and oil palm in Southeast Asia, generate particularly high GHG emissions. Even use of cellulosic feedstocks can spur higher crop prices that encourage the expansion of agriculture into undeveloped land, leading to GHG emissions and biodiversity losses.

Biofuel production and processing practices can also release GHGs. Fertilizer application releases nitrous oxide, a potent greenhouse gas. Most *biorefineries operate using fossil fuels. Some research suggests that GHG emissions resulting from biofuel production and use, including c) those from indirect land use change, may be higher than those generated by fossil fuels, depending on the time horizon of the analysis.

Regarding non-GHG environmental impacts, research suggests that production of biofuel feedstocks, particularly food crops like corn and soy, could increase water pollution from nutrients, *pesticides, and *sediment. Increases in irrigation and ethanol refining could deplete *aquifers. d) Air quality could also decline in some regions if the impact of biofuels on tailpipe emissions plus the additional emissions generated at biorefineries increases net conventional air pollution.

Economic models show that biofuel use can result in higher crop prices, though the range of estimates in the literature is wide. For example, a 2013 study found projections for the effect of biofuels on corn prices in 2015 ranging from a 5 to a 53 percent increase. The National Research Council's (2011) report on the RFS included several studies finding a 20 to 40 percent increase in corn prices from biofuels during 2007 to 2009. A National Center for Environmental Economics (NCEE) working paper found a 2 to 3 percent increase in long-run corn prices for each billion gallon increase in corn ethanol production on average across 19 studies. Higher crop prices lead to higher food prices, though impacts on retail food in the US are expected to be small. Higher crop prices may lead to higher rates of *malnutrition in developing countries.

(Reprinted from United States Environmental Protection Agency, Related Topics: Environmental Economics, Economics of Biofuels (2023) 一部改変)

*注

feedstocks : 原料

GHG (greenhouse gas) : 温室効果ガス

EPA (Environmental Protection Agency) : アメリカ合衆国環境保護庁

Second and third generation biofuels : 第2世代（油脂，セルロース，廃棄物由来）および第3世代（藻類由来）のバイオ燃料

market-mediated : 市場を介した

combustion : 燃焼

alleviate : 緩和する

accrue : 発生する

mitigate : 軽減する

fertilizer : 肥料

terrestrial : 地上の

biorefinery : バイオ燃料精製所

pesticide : 殺虫剤

sediment : 堆積物
aquifer : 帯水層
malnutrition : 栄養失調

- 問 1 筆者が本文中で主張しているバイオ燃料の利点のうち 4 項目を解答欄 (1) ~ (4) に, 問題点のうち 4 項目を解答欄 (5) ~ (8) に, 各々 25 字以内で答えよ.
- 問 2 下線部 A) の () 内に, 文脈に合うように以下の①~⑦の語句を適切な順序に並べ替えて入れるとき, (ア), (イ), (ウ), (エ) に入る語句の番号を答えなさい. ただし, 同じ語句を 2 回以上用いてはならない.
① price ② could also ③ demand ④ petroleum ⑤ reduce ⑥ for ⑦ its
- 問 3 下線部 B) を和訳しなさい.
- 問 4 下線部 C) について, 「those」が指す内容を以下の①~④から 1 つ選び, 番号を答えよ.
① fossil fuels ② nitrous oxide ③ GHG emissions ④ biorefineries
- 問 5 下線部 D) を和訳しなさい.
- 問 6 筆者が本文中で主張しているバイオ燃料の利点または問題点の中で, あなたが最も重要と考えるものを理由とともにあげ, バイオ燃料の利用の是非についてあなたの考えを 300 字以内で述べなさい.